МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 622.271.002.5 (06) https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-302-310

Ковшовые рабочие органы с конвейерным днищем: систематика и конструктивные особенности


Ю. М. Ляшенко[1], Е. А. Ревякина[2], А. Ю. Ляшенко[1]


[1] Шахтинский автодорожный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова» (г. Шахты, Российская Федерация)
[2] ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов на Дону, Российская Федерация)

Введение. Рассматривается создание новых типов ковшовых рабочих органов экскаваторов путем синтеза технических решений по улучшению транспортирующих функций днища. Эти решения основаны на снижении сопротивлений и энергоемкости при внедрении и зачерпывании за счет перехода от трения скольжения к трению качения во время перемещения горной массы по днищу ковша.
Материалы и методы. Анализ процессов погрузки и транспортировки сыпучих материалов с использованием существующих погрузочных средств выявил конструктивные недостатки, влияющие на эффективность их работы. Поиск перспективных конструктивных схем погрузочных органов осуществлялся на основе накопленного опыта и изучения морфологических особенностей существующего оборудования. Выполнены комбинаторный анализ возможных сочетаний элементов с разнообразным их качественным составом, взаимным расположением, наложенными связями и синтез новых технических решений погрузочно-транспортных модулей.
Результаты исследования. Результатами реализации морфологического синтеза явились систематизация и разработка конструкций ковшовых рабочих органов с днищем в виде роликовой поверхности и замкнутой ленты, а также с приводным механизмом конвейерного типа. Использование роликов в качестве опорной поверхности погруженного горного массива приводит к уменьшению сил трения и снижению энергоемкости рабочего процесса. Кроме того, вращающиеся ролики обеспечивают равномерное истирание рабочей поверхности, что значительно увеличивает время до выхода из строя оборудования и повышает эффективность технологического процесса. Рабочие органы с приводным механизмом позволяют активизировать взаимодействие днища конвейера в виде замкнутой ленты с горной массой и, как следствие, ускорить процесс заполнения емкости ковша.
Обсуждение и заключения. Ковшовые рабочие органы, описанные в работе, выгодно отличаются от существующих аналогов тем, что они обеспечивают сокращение времени внедрения, черпания и выгрузки, снижение удельной энергоемкости, увеличение наполнения ковша, что, в конечном счете, способствует повышению производительности. Некоторое повышение конструктивной сложности и стоимости рабочего органа приводят к дополнительным капитальным затратам, которые окупаются в течение двух-четырех месяцев.

Ключевые слова: ковшовые рабочие органы, процесс погрузки, операции рабочего цикла, выемочно-погрузочные машины, конвейерное днище, роликовая поверхность, механическая передача, гидроцилиндр, шток гидроцилиндра, трение.

Для цитирования: Ляшенко, Ю. М. Ковшовые рабочие органы с конвейерным днищем: систематика и конструктивные особенности / Ю. М. Ляшенко, Е. А. Ревякина, А. Ю. Ляшенко // Advanced Engineering Research. — 2020. — Т. 20, № 3. — С. 302−310. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-302-310

Bucket working bodies with conveyor bottom: systematics and design features

Yu. M. Lyashenko[1], E. A. Revyakina[2], A.Yu. Lyashenko[3]
[1,3] Shakhty Institute, Branch of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (Shakhty, Russian Federation)
[2] Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The creation of new types of bucket working bodies of excavators through synthesizing technical solutions to improve the transporting functions of the bottom is considered. These solutions are based on reducing the resistance and energy consumption under digging-in and scooping due to the transition from sliding friction to rolling friction during the movement of the rock mass along the bottom of the bucket.
Materials and Methods. Analysis of the bulk materials handling processes using existing loading appliances identified design flaws that affect the efficiency of their operation. Advanced design diagrams of loading bodies were searched on the basis of the accumulated experience and the study of the morphological features of the existing equipment. Combinatorial analysis of possible combinations of elements with their various qualitative compositions, mutual arrangement, imposed links, and synthesis of new technical solutions for loading and transportation modules are carried out.
Results. The results of the morphological synthesis implementation were the systematization and development of designs of bucket working bodies with a bottom in the form of a roller surface and a closed belt, as well as with a conveyor-type drive mechanism. The application of rollers as a supporting surface of a loaded rock mass causes a decrease in friction forces and in the power capacity of the work process. In addition, rotating rollers provide uniform abrasion of the working surface, which increases significantly the time to the equipment breakdown and increases the process efficiency. Working bodies with a drive mechanism make it possible to activate the interaction of the conveyor bottom in the form of a closed belt with the rock mass and, as a result, to accelerate the process of filling the bucket container.
Discussion and Conclusions. The bucket working bodies described in the paper compare favorably with existing analogues in that they provide a reduction in the time to digging-in, scooping and unloading, a decrease in specific energy consumption, an increase in bucket filling, which ultimately contributes to an increase in productivity. A slight increase in the structural complexity and cost of the working body causes additional capital costs, which are paid back within two to four months.

***Keywords**:* bucket working bodies, loading process, working cycle operations, extraction-and-loading machines, conveyor bottom, roller surface, mechanical transmission, hydraulic cylinder, hydraulic cylinder rod, friction.

For citation: Yu. M. Lyashenko, E. A. Revyakina, A.Yu. Lyashenko. Bucket working bodies with conveyor bottom: systematics and design features. Advanced Engineering Research, 2020, vol. 20, no. 3, p. 302‒310. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-302-310

Введение. Технический уровень горнотранспортного оборудования для добычи полезных ископаемых открытым способом определяется конструктивным совершенством как машины в целом, так и её ковшового рабочего органа[1,2,3]. Повысить технико-эксплуатационные показатели оборудования можно путем использования, прежде всего, рабочих органов рациональных конструкций и параметров.

Анализ средств механизации погрузки скальных грунтов с помощью эксплуатируемых в настоящее время выемочно-погрузочных машин (экскаваторов), выявил факторы, влияющие на эффективность их работы[4]. На рис. 1 представлен ковш широко применяемой конструкции с днищем в виде гладкой поверхности.

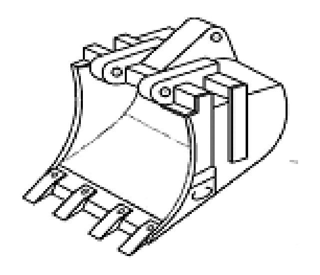


Рис. 1. Ковшовый рабочий орган с днищем в виде гладкой поверхности

[1] Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров : учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М., 2003. 606 с.
[2] Дроздова Л. Г., Курбатова О. А Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт : учеб. пособие. Владивосток, 2007. С. 48–56.
[3] Направления и результаты исследований по созданию проходческого оборудования нового технического уровня / Г. Ш. Хазанович [и др.] // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 2013. С. 148–152.
[4] Хазанович Г. Ш., Ляшенко Ю. М. Никитин Е. В. Методика эксперимента в исследованиях процессов погрузки и транспортировки кусковых пород : учеб.-метод. Пособие. Новочеркасск, 2003. 150 с.

Установлено, что конструктивное усовершенствование ковшового рабочего органа ведется, главным образом, по пути снижения сопротивлений внедрению ковша в штабель [1]. Целью настоящей работы является систематизация разработанных авторами новых технических решений рабочих органов, в частности, с конвейерным днищем, анализ их конструктивных особенностей и улучшенных рабочих качеств, т. е. рассмотрение тенденций развития данного класса оборудования. Основные задачи работы:

— обоснование принципиальных подходов к изменению конструкций элементов ковшового рабочего органа;

— определение целесообразности применения функционально-структурного анализа для выбора направлений совершенствования конструкции ковша;

— разработка классификационных признаков, характеризующих ковши экскаваторов с уменьшенным сопротивлением внедрению;

— предварительная качественная оценка новых технических решений.

Материалы и методы. Согласно результатам графоаналитического и физического моделирования системы «ковш — штабель горной массы» установлено, что сопротивление внедрению ковшового рабочего органа в штабель существенно зависит от коэффициента трения погружаемого материала по поверхностям ковша [2, 3]. При синтезе обладающих конструктивной новизной технических решений ковшовых рабочих органов решена задача снижения коэффициента трения скальных грунтов о днище рабочих органов путем перехода от трения скольжения к трению качения [4].

Создание образцов новых типов рабочих органов — сложная, многоэтапная задача. Первым этапом определения перспективных конструктивных схем ковшовых рабочих органов явилось изучение накопленного опыта и установление морфологических признаков существующего оборудования (рис. 2).

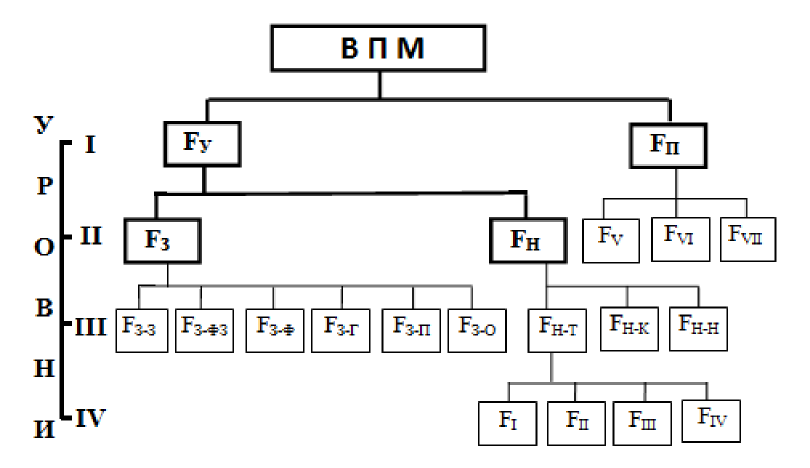


Рис. 2. Функциональная модель выемочно-погрузочной машины

Составленная функциональная модель выемочно-погрузочной машины включает следующую совокупность действий: $F_у$ — убрать горную массу; $F_п$ — обеспечить перемещение в образованном пространстве; $F_з$ — зачерпнуть отделенную от массива горную массу; $F_{з\text{-}з}$ — сформировать объем захвата; $F_{з\text{-}фз}$ — обеспечить функционирование органа формирования объема захвата; $F_{з\text{-}ф}$ — обслужить забой по фронту; $F_{з\text{-}г}$ — обслужить забой в глубину; $F_{з\text{-}п}$ — переместить элемент формирования объема захвата к месту освобождения от порции материала; $F_{з\text{-}о}$ — обеспечить освобождение элемента формирования объема захвата от порции материала; $F_н$ — накопить и перегрузить зачерпнутую горную массу; $F_{н\text{-}т}$ — обеспечить транспортирование (перемещение) горной массы; $F_{н\text{-}к}$ — обеспечить сохранение контакта с последующим транспортным средством; $F_{н\text{-}н}$ — обеспечить накопление горной массы; F_I — удерживать горную массу в процессе транспортирования (перемещения); F_{II} — приложить к горной массе воздействующее усилие; F_{III} — передать воздействующее усилие от привода к исполнительным элементам; F_{IV} — переместить несущий элемент с отделенной от массива горной массой; F_V — воспринимать напорные усилия и закрепить положение функциональных элементов системы; F_{VI} — преобразовать подводимую к приводу энергию в изменение кинематического состояния системы; F_{VII} — объединить функциональные элементы системы для совместной работы.

Предлагаемая дифференциация функциональных признаков позволяет выйти на элементный уровень структурообразования отдельных механизмов выемочно-погрузочных машин. Невозможность дальнейшего дробления основных функций (макрофункций) на подчиненные (микрофункции) без перехода от функции к предметной форме их исполнения явилась сигналом к завершению функционального анализа.

С учетом составленной функциональной модели выемочно-погрузочной машины разработана

морфологическая таблица, с помощью которой сформированы структурно-морфологические признаки технического решения, обладающего конструктивной новизной [4] (рис. 3).

Результаты исследования. Результатом практической реализации морфологического синтеза явилась разработанная конструкция ковша с днищем в виде конвейера [5]. Применение замкнутой ленты в качестве грузонесущего органа и опорной поверхности погружаемой горной массы ведет к исключению просыпания и заклинивания погружаемого материала. Такое исполнение характеризуется низким коэффициентом трения горной массы о днище в виде замкнутой ленты, опирающейся на ролики. Следовательно, нужно ожидать снижения энергоемкости рабочего процесса, что обеспечит увеличение производительности и надежности ковшового рабочего органа.

Представления об эффективности оснащения роликовыми элементами рабочих органов при погрузке скальных грунтов получили дальнейшее развитие в обладающей новизной конструкции рабочего органа погрузочно-транспортного модуля с цикловым исполнительным механизмом. Предлагаемый погрузочно-транспортный модуль, снабженный замкнутой лентой, отличается от существующих аналогов повышенной скоростью перемещения горной массы, он обеспечивает непрерывность погрузки материала при цикличной работе рабочего органа. Все это способствует повышению производительности и эффективности рабочего процесса при исключении возможности просыпания и заклинивания частиц между роликами. Увеличить эффективность ковшового рабочего органа позволяет также оснащение приводом ведущего ролика в конвейерном днище. Это решение обеспечивает сокращение времени операций внедрения, зачерпывания и разгрузки, увеличение наполнения ковша и, следовательно, способствует повышению производительности [6].

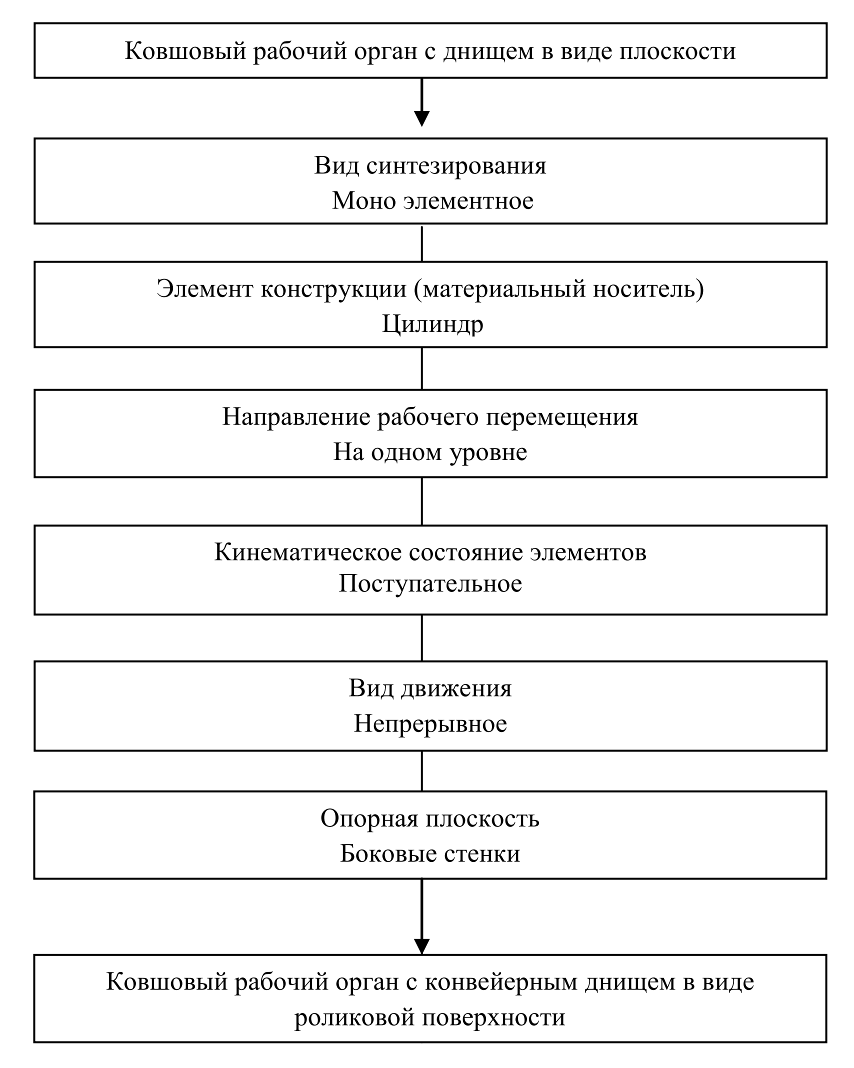


Рис. 3. Формирование структурно-морфологических признаков обладающего конструктивной новизной технического решения

Разработанные на приведенных принципах модели ковшей с конвейерным днищем образуют новую конструктивно-технологическую группу погрузочных органов, которые могут использоваться на экскаваторах, ковшовых погрузчиках и другом погрузочно-транспортном оборудовании. Ниже эти технические решения представлены совокупностью двух групп конструкций, характеризующихся днищем в виде роликовой

поверхности и в виде замкнутой ленты (рис. 4) [7]. В свою очередь, конструктивно модели с замкнутой лентой делятся на бесприводные и с механизмом привода ленты, который может быть выполнен от электродвигателя с механической трансмиссий и с помощью различных вариантов силовых гидроцилиндров.

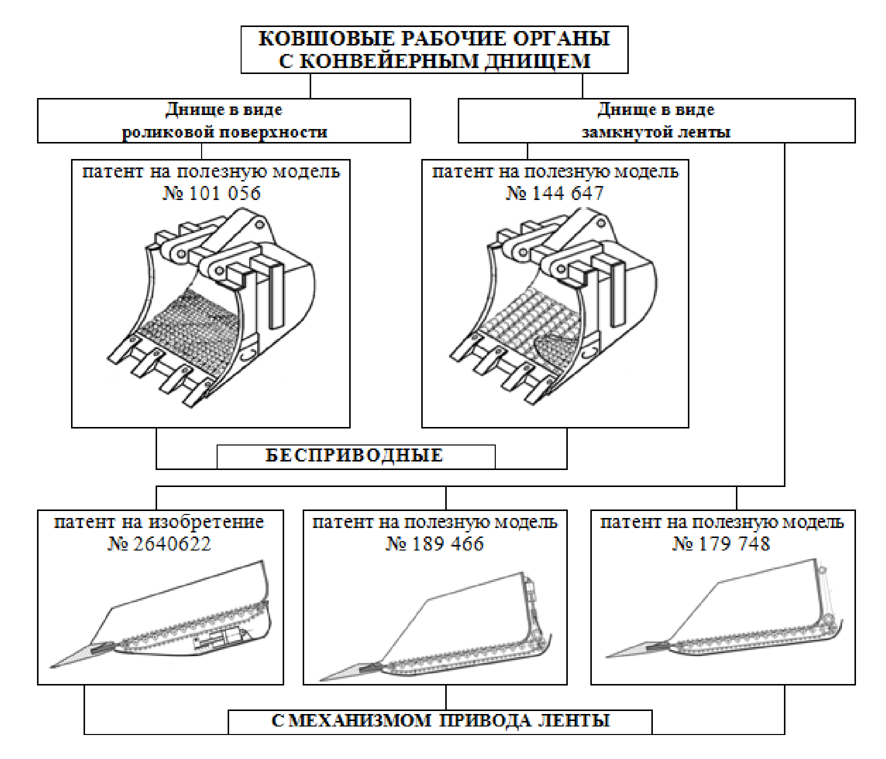


Рис. 4. Систематика ковшовых рабочих органов с конвейерным днищем

Рассмотрим конструктивные особенности бесприводных ковшовых рабочих органов с конвейерным днищем в виде роликовой поверхности, в виде замкнутой ленты, а также ковшовых рабочих органов с механизмом привода ленты конвейерного днища.

Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде роликовой поверхности[5]**.** Согласно предлагаемой конструкции ковшового рабочего органа (рис. 5), днище 3 выполняется в виде поверхности, состоящей из совокупности роликов 4, которые устанавливаются с возможностью вращения вокруг осей 5, закрепленных на боковых стенках 2. Перед началом работы, когда процесс рыхления горных пород в карьере закончен, ковшовый рабочий орган находится перед штабелем кусковой горной массы в положении, показанном на рис. 5, б. Наполнение емкости 1 происходит при ее принудительном перемещении в направлении штабеля. При этом режущая кромка и зубья днища 3 срезают часть материала штабеля, расположенного на поверхности забоя. Горная масса в разрыхленном состоянии скользит по роликам 4 и поступает в емкость 1. Ролики 4 под напором горной массы вращаются относительно осей 5, снижая сопротивление ее перемещению относительно днища 3 и способствуя более эффективному наполнению емкости 1.

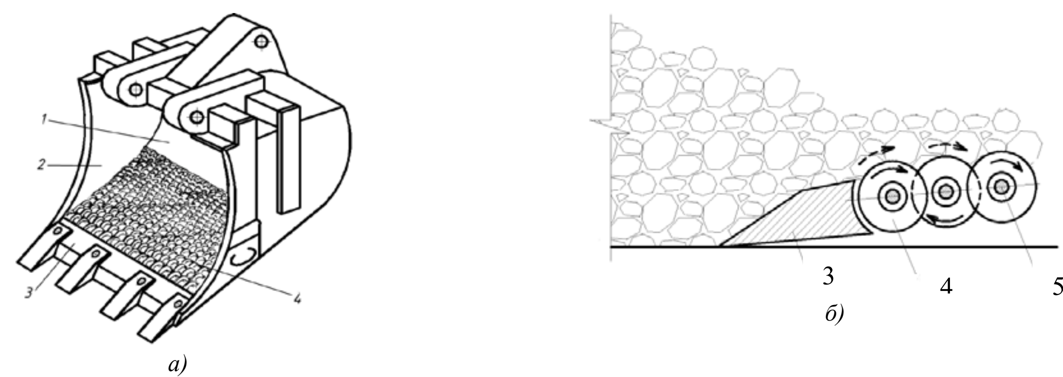


Рис. 5. Конструкция ковшового рабочего органа с конвейерным днищем в виде роликовой поверхности (*а*) и его положение перед штабелем кусковой горной массы (*б*):
1 — емкость ковша; 2 — боковые стенки; 3 — днище; 4 — совокупность роликов; 5 — ось вращения

[5] Ляшенко Ю. М., Ревякина Е. А., Ляшенко А. Ю. : патент 101056 Рос. Федерация : E02F 3/40 / № 2010128718/03 ; заявл. 09.07.2010 ; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

Перемещение горной массы к месту разгрузки осуществляется в емкости 1. Разгрузка емкости происходит при ее наклоне вследствие перемещения горной массы под действием сил тяжести. При этом скольжение горной массы в обратном направлении по вращающимся в том же направлении роликам 4 способствует сокращению времени разгрузки. Использование роликов в качестве опорной поверхности погружаемой горной массы приводит к уменьшению рабочих нагрузок и снижению энергоемкости процесса. Кроме того, вращающиеся ролики обеспечивают равномерное истирание рабочей поверхности, что значительно снижает риск выхода из строя оборудования и повышает эффективность процесса.

Ковшовый рабочий орган с днищем в виде замкнутой ленты (рис. 6)[6]. Особенность такой конструкции заключается в том, что конвейерное днище 3 выполняется в виде замкнутой ленты 6, состоящей из пластин 7, шарнирно соединенных между собой пальцами 8. Лента опирается на ролики 4 и огибает последние. Ролики выступают в качестве направляющей трассы при движении верхней ветви полотна пластин 7. Под давлением ленты 6, взаимодействующей с горной массой, ролики 4 вращаются относительно осей 5, закрепленных на боковых стенках 2. Лента 6 при этом перемещается по роликам 4. Горная масса по ленте поступает в ёмкость 1. Применение замкнутой ленты в качестве грузонесущего органа и опорной поверхности горной массы исключает просыпание и заклинивание погружаемого материала.

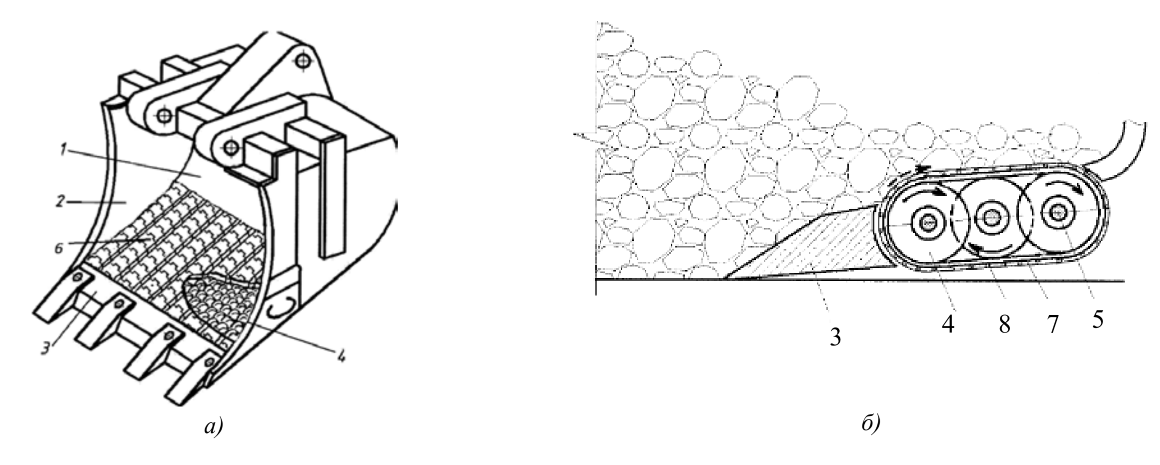


Рис. 6. Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты (*а*)
и его положение перед штабелем кусковой горной массы (*б*): 1 — емкость ковша; 2 — боковые стенки; 3 — днище;
4 — ролики; 5 — ось вращения; 6 — лента; 7 — пластины; 8 — пальцы

Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной с двигателем механической передачей[7]**.** Такая конструкция по сравнению с предыдущими способна в еще большей степени активизировать взаимодействие конвейерного днища с горной массой и, как следствие, ускорить процесс наполнения ковша (рис. 7). Возможные варианты привода описаны в рассмотренных ниже технических решениях.

Здесь конвейерное днище 2 выполнено в виде замкнутой ленты 3, огибающей ролики 4, оси вращения которых закреплены на боковых стенках 1. Один из роликов 5 выполняется приводным и оснащается механической передачей 6, связанной с двигателем 7, для перемещения замкнутой ленты,

Перемещение горной массы на ленте 3, приводимой в движение вращающимся приводным роликом 5 через механическую передачу 6 от двигателя 8, способствует более эффективному наполнению ёмкости и сокращает время операции. Таким образом, предлагаемый рабочий орган выгодно отличается от существующих аналогов тем, что обеспечивает сокращение времени операций внедрения, черпания и выгрузки, а при внедрении в штабель и зачерпывании увеличивает наполняемость и, следовательно, способствует повышению производительности.

[6] Ковшовый рабочий орган / Ю. М. Ляшенко [и др.] : патент 144647 Рос. Федерация : 6 E02 F3/40 / № 2014108406/03 ; заявл. 04.03.2014 ; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
[7] Комплекс карьерного оборудования / Е. А. Ревякина [и др.] : патент 2640622 Рос. Федерация : E21C 47/00; B65G 65/02 / № 2016145713 ; заявл. 23.11.2016 ; опубл. 10.01.2018, Бюл. № 1.

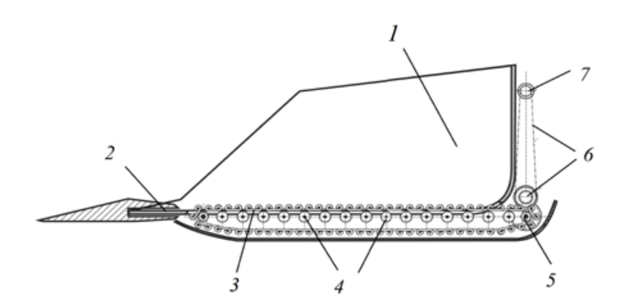


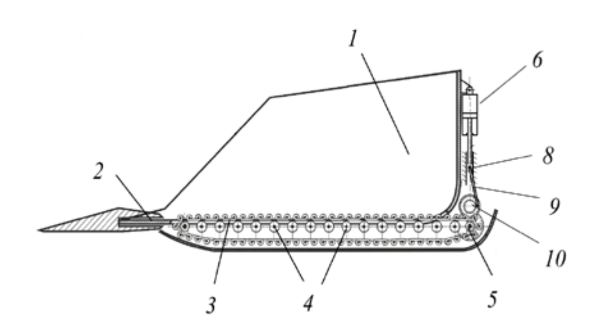
Рис. 7. Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной с двигателем механической передачей: 1 — боковая стенка; 2 — днище; 3 — замкнутая лента; 4 — ролики; 5 — ведущий (приводной) ролик; 6 — механическая передача; 7 — двигатель

Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной передаточными механизмами с приводом из двух гидроцилиндров[8]. Схема такого рабочего органа приведена на рис. 8. Его конвейерное днище 2 выполнено в виде замкнутой ленты 3, огибающей ролики 4, оси вращения которых закреплены на боковых стенках 1. Привод замкнутой ленты состоит из двух гидроцилиндров 6 и 7 с передаточными механизмами в виде установленных в направляющие ползунов 8, шатунов 9 и кривошипов 10. Шатуны 9 шарнирно связаны с ползунами 8, а кривошипы 10 жестко крепятся на оси ведущего ролика 5 при взаимно перпендикулярном смещении.

Оснащение ковшового рабочего органа приводом, состоящим из двух гидроцилиндров с передаточными механизмами указанной конструкции, обеспечивает вращательные движения ведущего ролика. Взаимное смещение точек крепления кривошипов обеспечивает выход гидроцилиндров из мертвых точек в заданном направлении вращения.

С помощью подачи рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндра 6 обеспечивается движение его штока и передаточных механизмов, состоящих из установленных в направляющие ползунов 8, кривошипов 9 и шатунов 10. Таким образом приводится во вращение приводной ролик 5, чем обеспечивается перемещение ленты 3. При этом поршень гидроцилиндра 7 выводится из крайнего положения, после чего в его поршневую полость подается жидкость, чем обеспечивается одновременная работа гидроцилиндров 6 и 7.

Наполнение ковша происходит в период его принудительного перемещения в направлении штабеля. При этом режущая кромка и зубья днища 2 срезают часть материала штабеля, расположенного на поверхности забоя. Горная масса в разрыхленном состоянии входит во взаимодействие с лентой 3 и перемещается последней к днищу 2, заполняя ковшовый рабочий орган. Цикл завершается возвратом ковшового рабочего органа в исходное положение и его подготовкой к новому рабочему движению и заполнению.



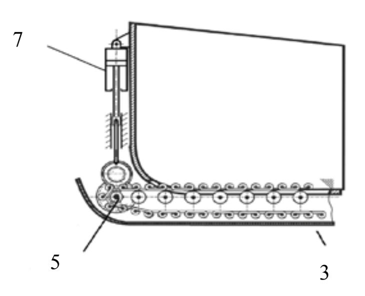


Рис. 8. Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной передаточными механизмами с приводом из двух гидроцилиндров: 1 — боковая стенка; 2 — конвейерное днище; 3 — лента; 4 — поддерживающие ролики; 5 — ведущий ролик; 6, 7 — гидроцилиндры; 8 —ползуны; 9 — шатуны; 10 — кривошипы

Конструктивное исполнение механизма привода ленты в виде вращающегося ролика, приводящегося во вращение двумя гидроцилиндрами с передаточными механизмами, позволяет использовать ковшовые рабочие органы с конвейерным днищем на гидравлических экскаваторах, играющих ключевую роль в механизации выемочно-погрузочных работ на карьерах. Таких экскаваторов насчитывается более 60 % от общей численности.

[8] Ревякина Е. А., Ляшенко Ю. М., Сергеев В. В. : патент 179748 Рос. Федерация : E02F 3/40 / № 2017144003 ; заявл. 15.12.2017 ; опубл. 23.05.2018, Бюл. № 15.

Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной с приводными гидроцилиндрами через стопорные фиксаторы[9]. Схема рабочего органа приведена на рис. 9. В данной конструкции привод замкнутой ленты 1 ковшового рабочего органа с конвейерным днищем состоит из двух гидроцилиндров 4 с установленными на штоках 5 подпружиненными фиксаторами 6, которые входят в зацепление с лентой 1 под действием пружины 7 при прямом ходе и свободно перемещаются при обратном.

В процессе погрузки в гидроцилиндр 4 подается рабочая жидкость. Шток 5 гидроцилиндра выдвигается, фиксатор 6 под действием пружины 7 входит в зацепление с лентой 1 и приводит ее в движение. Лента, двигаясь по роликам 2, осуществляет перемещение находящейся на ней горной массы. Непрерывность процесса транспортирования горной массы обеспечивается последовательной работой 2-х гидроцилиндров 4. Такой механизм привода конвейерной ленты упрощает конструкцию ковшового рабочего органа, повышает надежность привода, сохраняя положительный эффект рассмотренного выше привода ленты в виде вращающегося ролика, получающего вращение от двух гидроцилиндров с передаточными механизмами.

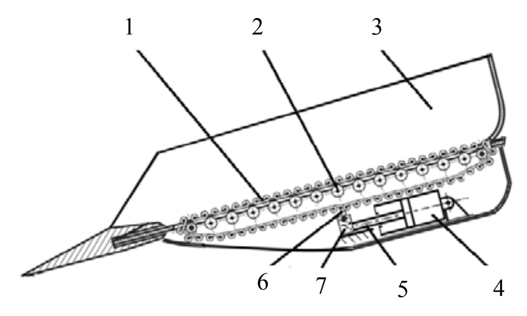


Рис. 9. Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты, связанной с приводными гидроцилиндрами через стопорные фиксаторы: 1 — замкнутая лента; 2 — ролики; 3 — боковые стенки; 4 — гидроцилиндр; 5 — шток гидроцилиндра; 6 — фиксатор; 7 — пружина

Обсуждение и заключения. Ковшовые рабочие органы с конвейерным днищем позволяют существенно повысить технический уровень эксплуатируемых экскаваторов, способствуют снижению энергоёмкости погрузки. Предварительный анализ показывает, что в сравнении с традиционными погрузочными органами экскаваторов, имеющими днище с гладкой поверхностью, предлагаемые технические решения имеют следующие преимущества:

- снижение сопротивления внедрению;
- повышение коэффициента наполнения ковша;
- уменьшение удельной энергоемкости процесса;
- увеличение результирующей технической производительности.

Эти преимущества будут более существенно проявляться с увеличением вместимости ковша экскаватора. Определенное конструктивное усложнение погрузочного органа не может существенно сказываться на стоимости экскаватора, предполагаемые дополнительные капитальные затраты окупаются в течение двух-четырех месяцев.

В основу комплексной экспертной оценки полученных в ходе морфологического синтеза вариантов технических решений положен метод расстановки приоритетов [8, 9]. Расчет комплексного приоритета ковшовых рабочих органов с конвейерным днищем и погрузочных модулей с транспортирующим днищем, позволил признать их перспективными при репрезентативности экспертной группы 0,81.

Библиографический список

1. Хазанович, Г. Ш. Моделирование рабочих процессов как основа для выбора рациональных вариантов проходческих погрузочно-транспортных модулей / Г. Ш. Хазанович, Г. В. Лукьянова // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2005. — № 58. — С. 112–117. — URL : https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41290655 (дата обращения: 29.08.2020).

2. Ляшенко, Ю. М. Методические подходы к моделированию системы «сыпучее тело — рабочий элемент» в исследованиях процесса погрузки горных пород / Ю. М. Ляшенко, Е. А. Ревякина // Горное оборудование и электромеханика. — 2018. — № 3 (137). — С. 15–20.

3. Моделирование рабочих процессов погрузочно-транспортных модулей с учетом случайного характера внешних воздействий / Г. Ш. Хазанович, Г. В. Лукьянова, Е. А. Ревякина, А. В. Отроков. — Шахты : Изд-во Южн.-Рос. гос. ун-та эконом. и серв., 2010. — 177 с.

[9] Ревякина Е. А., Ляшенко Ю. М. Сергеев В. В. Ковшовый рабочий орган : патент 189466 Рос. Федерация : E02F 3/40 / № 2019106773 ; заявл. 12.03.2019 ; опубл. 23.05.2019, Бюл. № 15.

4. Лускань, О. А. Влияние режимных параметров качания рамы импульсного роликового конвейера на процесс транспортирования штучных грузов / О. А. Лускань // Мир транспорта и технологических машин. — 2011. — № 1(32). — С. 48–63.

5. Lyashenko, Yu. M. Application of the laws of mechanics of granulated solids in studies to loader bucket interaction with bulk material stack / Yu. M. Lyashenko, D. N. Shurygin, E. A. Revyakina // Proc. Int. Conf. on Industrial Engineering. In: Procedia Engineering.— 2017. — P. 1388-1394.

6. Евстратов, В. А. Исследования физической модели ковша экскаватора с роликовым днищем / В. А. Евстратов, А. Ю. Ляшенко // Строительные и дорожные машины. — 2013. — № 1. — С. 2–7.

7. Ляшенко, Ю. М. Погрузочные органы с роликовой рабочей поверхностью погрузочно-транспортных комплексов карьеров нерудных материалов / Ю. М. Ляшенко, Е. А. Ревякина, А. Ю. Ляшенко // Мир транспорта и технологических машин. — 2014. — Вып. 3(46). — С. 60–71.

8. Моисеева, Н. К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении / Н. К. Моисеева. — Москва : Машиностроение, 1987. — 210 с.

9. Кузнецов, С. Исследование процедур функционально-стоимостного анализа систем / С. Кузнецов. — Москва : LAP Lambert Academic Publishing, 2018. — 100 с.

Сдана в редакцию 16.03.2020
Запланирована в номер 11.05.2020

Об авторах:

Юрий Михайлович Ляшенко, профессор кафедры «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой» Шахтинского автодорожного института (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им М. И. Платова, (346500, РФ, г. Шахты, Ростовской обл., пл. Ленина, 1), доктор технических наук, профессор, Scopus ID: 6603581379, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6553-0163, lumdtn@yandex.ru

Елена Александровна Ревякина, доцент кафедры «Кибербезопасность информационных систем» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, Scopus ID: 57197834319, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1577-2671, revyelena@yandex.ru

Алена Юрьевна Ляшенко, ассистент кафедры «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой» Шахтинского автодорожного института (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им.М. И. Платова, (346500, РФ, г. Шахты, Ростовской области, пл. Ленина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2896-8043, alyona_lyashenko@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Ю. М. Ляшенко — научное руководство, формирование основной концепции, целей и задач исследования. Е. А. Ревякина — проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. А. Ю. Ляшенко — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.